

0-793254

*На правах рукописи*



**Осипов Эдуард Владиславович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ СОЗДАНИЯ ВАКУУМА  
УСТАНОВОК РЕКТИФИКАЦИИ МАЗУТА**

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Казань–2012

Работа выполнена на кафедре «Машины и аппараты химических производств» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
Поникаров Сергей Иванович

Официальные оппоненты: Теляшев Гумер Гарифович,  
доктор технических наук, профессор,  
ООО «Проектно-технологический институт  
НХП» (РБ, г. Уфа), директор

Зиятдинов Надир Низамович,  
доктор технических наук, профессор,  
Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, зав. кафедрой  
«Системотехника»

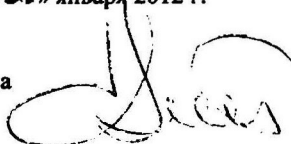
Ведущая организация – ОАО «Нижнекамскнефтехим»,  
РТ, г. Нижнекамск

Защита состоится « 2 » марта 2012 г. в 14 час. на заседании диссертационного совета Д 212.080.06 при ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, КНИТУ, корпус А, ауд. 330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского национального исследовательского технологического университета.

Автореферат разослан « 31 » января 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



С.И. Поникаров

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000690496

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы исследования

Существенное влияние на технологию разделения мазута под вакуумом оказывает надежность и эффективность работы вакуумсоздающих систем (ВСС). На ряде предприятий РФ, в том числе и на установке ЭЛОУ-АВТ-5 ООО «Лукойл – Волгограднефтепереработка», в настоящее время проводится масштабная реконструкция блоков разделения мазутов и ВСС. Поэтому задача обоснования направлений совершенствования, разработка рекомендаций по модернизации ВСС для блоков вакуумной ректификации мазута является весьма актуальной.

Работа проводилась в соответствии с планом по координации НИР, заключенным между ОАО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднинефтепроект» (г. Нижний Новгород) и Казанским национальным исследовательским технологическим университетом по направлению «Разработка энергосберегающих и экологически чистых вакуумсоздающих систем для технологических объектов нефтепереработки и нефтехимии».

**Целью работы** является научное обоснование направлений совершенствования систем создания и поддержания вакуума применительно к установкам разделения мазута с учетом взаимодействия всех узлов установки и разработка конкретных рекомендаций по аппаратурно-технологическому оформлению вакуумсоздающих систем.

**Научная новизна** проведенных исследований может быть сформулирована в виде следующих ключевых положений:

1. На основе стратегии системного анализа проведена декомпозиция сложной химико-технологической системы (СХТС) – установки вакуумной ректификации мазута – на элементы верхнего иерархического уровня (ректификационная колонна, транспортные трубопроводы, конденсатор, ВСС) и показано, что свойства этих элементов определяют интегративную характеристику СХТС.
2. В среде универсальной моделирующей программы (УМП) ChemCad синтезированы специализированные вычислительные модели для всех элементов верхнего иерархического уровня системы, определяющие свойства элементов, существенные с точки зрения поставленной задачи.
3. Определены условия сопряжения характеристик отдельных элементов СХТС, полученных на математических моделях, для получения интегративной характеристики системы.
4. Предложен критерий оценки технико-экономических показателей ВСС различного типа, не зависящий от условий ценообразования на энергоносители, и обоснованы направления совершенствования ВСС.

**Личный вклад автора** состоит:

- В разработке математических моделей основных элементов СХТС (установки ректификации мазута) с использованием универсальной моделирующей программы ChemCad;
- В исследовании термодинамических закономерностей работы жидкостно-кольцевых вакуумных насосов (ЖКВН) и разработке приема сглаживания паспортной характеристики, обеспечивающего синтез модели ЖКВН в среде ChemCad;
- В проведении численного эксперимента для получения характеристик элементов системы и интегративной характеристики СХТС;

- В разработке методики сопоставления технико-экономических показателей ВСС различного типа;
- В разработке рекомендаций по реконструкции ВСС для установки АВТ-5 ООО «Лукойл – Волгограднефтепереработка».

#### **Основные результаты, выносимые на защиту:**

- Результаты системного анализа сложной химико-технологической системы (установки ректификации мазута), проведенного с целью определения факторов, обеспечивающих задачу понижения давления в ректификационной колонне до давления 40 мм. рт. ст. и ниже.
- Математическая модель ЖКВН, позволяющая учесть влияние конструктивных, гидродинамических и термодинамических факторов на характеристику насоса, реализованная в среде ChemCad.
- Закономерности взаимодействия элементов верхнего иерархического уровня (колонна, конденсатор, ВСС, трубопроводы) установки ректификации мазута и направления снижения энергопотребления системы.
- Технологическая схема установки ректификации мазута, ориентированная на решение задач энергосбережения и экологии.

#### **Практическая значимость полученных результатов заключается:**

- В разработке методики сопоставления конкурирующих технологических решений по критерию относительной эксплуатационной стоимости потребляемых источников энергии.
- В разработке технологической схемы установки ректификации мазута, включающей в себя одноступенчатый паровой эжектор, установленный между ректификационной колонной и конденсатором, что позволило кардинально улучшить показатели работы конденсационного узла, снизить нагрузку на ВСС, понизить давление в ректификационной колонне и улучшить технико-экономические показатели СХТС.
- В разработке рекомендаций по совершенствованию вакуумсоздающей системы установки ЭЛОУ-АВТ-5 ООО «Лукойл – Волгограднефтепереработка».

#### **Реализация и внедрение результатов работы.**

Предложения по усовершенствованию технологической схемы блока ректификации мазута установки ЭЛОУ-АВТ-5 переданы ООО «Нижегородинифтепроект» и используются при разработке проекта реконструкции установки. Схема комбинирования предвключенного парового эжектора с ЖКВН внедрена в цехе разделения отходов производства фенола ОАО «Казаньоргсинтез». Справки об использовании результатов исследования представлены в Приложении к диссертации.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Пятой Всероссийской научно-технической конференции «Интенсификация тепло- и массообменных процессов в химической технологии» (Казань, 2007); на Второй Всероссийской студенческой научно-технической конференции «Интенсификация тепло- и массообменных процессов, промышленная безопасность и экология» (Казань, 2008); на XVII научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника» (Сочи, 2010); на Международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка-2011» (г. Уфа); на XXIV Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях-24» (Киев, 2011); на XVIII научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника» (Сочи, 2011); на



Всероссийской молодежной конференции с элементами научной школы «Нефть и нефтехимия» (Казань, 2011).

**Публикации.** Основное содержание диссертации отражено в 17-и публикациях, в том числе в 6-и статьях, опубликованных в научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России для соискателей ученых степеней доктора и кандидата наук, а также в материалах 7-ми Российских и Международных научных конференций. В названных публикациях полностью отражены основные положения диссертации.

**Структура и объем работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованных источников. Общий объем диссертации составляет 131 страниц машинописного текста, включая 47 рисунков, 11 таблиц, и список использованной литературы из 111 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Разделение мазутов проводится под вакуумом, за счет этого удастся снизить требуемую температуру нагрева мазута до допустимых пределов и исключить (снизить) процессы термического разложения тяжелых углеводородов, содержащихся в мазуте. Для обеспечения работы системы ректификации под вакуумом применяются специальные вакуумсоздающие системы (ВСС). Разработка современных систем создания и поддержания вакуума является весьма актуальной задачей.

### **Глава 1. Особенности технологии разделения мазута под вакуумом**

Понижение давления в вакуумной колонне дает ощутимые технологические преимущества. На ряде предприятий ставится задача достижения вакуума в верху колонн 40 и даже 25 мм рт. ст. (3-5 кПа). Существуют несколько типов конкурирующих типов ВСС, выбор между которыми предполагает комплексный учет достаточно большого числа факторов. Проведенный анализ позволил сформулировать следующие задачи исследования:

1. Обоснование методики исследования изучаемого объекта (установки разделения мазута под вакуумом) для выявления всех факторов, определяющих условия работы вакуумсоздающих систем.
2. Разработка математического аппарата для комплексного исследования работы вакуумного блока установок АВТ методами математического моделирования.
3. Исследование характеристик сопряженных узлов исследуемого объекта
4. Обобщение опытно-промышленных данных по работе вакуумсоздающих систем блоков вакуумной ректификации.
5. Техничко-экономическая оценка ВСС различных типов для условий эксплуатации, соответствующих сегодняшним требованиям к технологии.
6. Разработка конкретных рекомендаций для модернизации вакуумсоздающих систем действующих технологических установок и их опытно - промышленная проверка.

### **Глава 2. Математическое моделирование процесса вакуумной ректификации мазута**

Установка вакуумной ректификации мазута подпадает под понятие сложной химико-технологической системы (СХТС). При исследовании СХТС ставится цель



**Обозначения.** Аппараты (круглое обрамление): 1 – трубчатая печь, 2 – генератор газов разложения; 3 – смеситель; 4 – IV (нижняя) секция ВК; 5 – III секция ВК; 6 – II секция ВК; 7 – I (верхняя) секция ВК. Потоки (прямоугольное обрамление): 1 – мазут; 2 – мазут из печи; 3 – жидкая углеводородная фаза; 4 – газы разложения; 5- газы натекания; 6, 7, 8 и 9 - сырье IV, III, II и I секций колонны соответственно; 10 – ПГС, отходящая из ВК; 11 – гудрон; 12, 13 и 14 – узкие фракции масляных дистиллятов.

В инструкции по эксплуатации моделирующей системы Pro-II (фирма Simulation Sciences Inc. USA) приведены зависимости для определения расходов газов разложения (1) и газов натекания (2) для вакуумных колонн установок АВТ:

$$G_1 = 2,86 \cdot 0,15 \cdot \exp[0,0495 \cdot (T_c - 385)] \cdot F_m \quad (1)$$

$$G_2 = 2,72 \cdot [0,151 \cdot F_m]^{0,5}, \quad (2)$$

где  $G_1$  и  $G_2$  - расход газов разложения и газов натекания (кг/час) соответственно,  $F_m$  - расход питания вакуумной колонны (н.м<sup>3</sup>/час),  $T_c$  - температура нагрева сырья в трубчатой печи (°C). В задачах реконструкции могут использоваться и опытные данные.

*Математические модели конденсационного блока и транспортных линий* были построены непосредственно в среде ChemCad (модули в БД присутствуют).

#### *Математические модели вакуумсоздающих систем*

Специализированные модули для расчета ВСС различных типов (паровые и жидкостные эжекторы, поршневые и жидкостнокольцевые вакуумные насосы) в УМП ChemCad не включены. Однако, возможности программы позволяют выполнить сборку (синтез) моделей из набора модулей, имеющихся в пакете.

#### *Пароэжекторные насосы*

В качестве рабочей среды в паровых эжекторах используется высокопотенциальный водяной пар (давление 0,6-1,0 МПа), расход которого определяется через коэффициент эжекции  $\nu$  (кг ПГС на 1 кг рабочего пара):

$$G_n = \frac{G_{отк.см.}}{\nu} \quad (3)$$

Зависимости для расчета  $\nu$  приведены в специальных методиках. Возможности пакета ChemCad позволяют синтезировать математические модели ПЭНов с любым числом ступеней. Для этой цели были использованы модули, с высокой точностью описывающие работу всех составных частей насоса: модули **Mixer** (смеситель); **Heat exchanger** (теплообменник); **Divider** (делитель); **Flash** (равновесный сепаратор).

#### *Гидроциркуляционные вакуумные насосы*

Для гидроциркуляционных ВСС на базе ЖЭ затраты на поддержание вакуума связаны с организацией циркуляции рабочей жидкости в узле ЖЭ – сепаратор. Требуемый расход циркулирующей жидкости (4) также определяется через  $\nu$ :

$$\nu = K \cdot \left( \sqrt{\frac{P_{ж} - P_n}{P_k - P_n}} + 1 \right) \cdot \frac{\rho_n}{\rho_{ж}}, \quad (\text{кг ПГС/кг жидкости}), \quad (4)$$

где  $K$  - эмпирический коэффициент;  $P_{ж}$ ,  $P_n$ , и  $P_k$  - давление рабочей жидкости, откачиваемого газа и выхлопа соответственно;  $\rho_n$  и  $\rho_{ж}$  - плотность ПГС и рабочей жидкости соответственно, кг/м<sup>3</sup>.

Использование уравнения (4) позволяет построить математическую модель ВСС на базе ЖЭ в среде ChemCad (рис. 3).

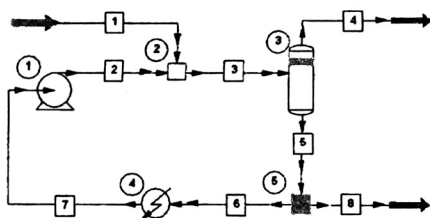


Рис. 3. Расчетная схема ВСС на базе ЖЭ  
**Обозначения.** Модули: 1, 2, 3, 4 и 5 моделируют соответственно насос, ЖЭ, фазовый сепаратор, холодильник и делитель циркуляционного потока.  
**Потоки:** 1, 2, 4 и 8 – соответственно откачиваемая ПГС, циркулирующая рабочая жидкость, выхлопной газ и избыток сконденсированного конденсата. Заданная температура циркулирующей жидкости обеспечивается холодильником 4.

### Жидкостно-кольцевые вакуумные насосы (ЖКВН)

На показатели работы ЖКВН основное влияние оказывают следующие 3 группы факторов: *Конструктивные* (величина радиальных и боковых зазоров между ротором и корпусом, форма и расположение всасывающего и нагнетательного окон и т.д.); *Гидродинамические* (форма рабочего кольца жидкости, зависящая, прежде всего, от плотности и вязкости рабочего тела); *Термодинамические* (определяют фазовые переходы, имеющие место при взаимодействии откачиваемого газа с рабочим телом ЖКВН). Весь комплекс взаимодействующих факторов фактически уже учтен в паспортной характеристике машины.

В известных моделях ЖКВН используется допущение об изотермичности процесса сжатия, причем эта температура принимается равной температуре питающей жидкости, а сами модели построены только для системы вода (рабочая жидкость) – воздух (откачиваемый газ). Анализ литературных данных по относительному (по отношению к воде) изменению производительности, перепада давления и к.п.д. ЖКВН в зависимости от плотности ( $\rho$ ) и вязкости ( $\mu$ ) рабочей жидкости позволил учесть влияние этих факторов за счет введения поправочных функций  $F(\rho)$  и  $F(\mu)$  (рис. 4 и 5), обработкой которых получены уравнения (5) и (6).

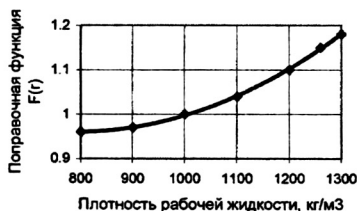


Рис. 4. Зависимость поправочной функции  $F(\rho)$  от плотности рабочей жидкости

$$F(\rho) = 8.5011E - 7 * \rho^2 - 1.3448E - 3 * \rho + 1.4922 \quad (5)$$

$$F(\mu) = -0.0003 * \mu + 1.0115 \quad (6)$$

Для ячейки всасывания отношение объема, занятого газом, к объему, занятому парами жидкости, определяется законом Дальтона:

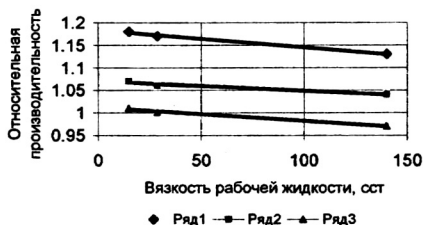


Рис. 5. Зависимость относительной производительности ЖКВН от вязкости  
 ряд 1 – 30 кПа; ряд 2 – 41 кПа;  
 ряд 3 – 61 кПа.

$$\frac{V_G}{V_D} = \frac{P_G}{P_D} = \frac{P_1 - P_D}{P_D} \quad (7)$$

Предполагая, что температура откачиваемого воздуха в процессе сжатия изменилась до температуры рабочей жидкости во вращающемся кольце (отлична от температуры свежей питающей жидкости), используя (7), можно записать:

$$V(\varepsilon)_1 = V(\varepsilon)_0 \cdot A \cdot B, \text{ где} \quad (8)$$

$$A = 1 - \frac{t_1 - 20}{t_3 + 273} \quad (9) \quad B = \frac{P_1 - P_D}{P_1 - P_{нас}} \quad (10)$$

В уравнениях (8)-(10)  $V(\varepsilon)_1$  - производительность ЖКВН в рабочих условиях;  $V(\varepsilon)_0$  - производительность ЖКВН при условиях испытания;  $t_1$  и  $t_3$  температуры откачиваемого газа и рабочей жидкости в кольце соответственно;  $P_1$  - давление всасывания;  $P_D$  - ДНП рабочей жидкости при заданной температуре;  $P_{нас}$  - ДНП воды при температуре рабочей жидкости (условия испытания).

Уравнение (8) записано относительно объемных расходов откачиваемого газа. Соответствующие обобщения (характеристики ЖКВН) отличаются выраженной нелинейностью. В моделирующих программах (УМП) задание объемных расходов не предусмотрено, что затрудняет применение объемных характеристик. Поэтому была проведена дополнительная обработка характеристики ЖКВН:

$$\nu(\varepsilon) = \frac{R \cdot T}{P(\varepsilon)}, \text{ м}^3/\text{кг-моль} \quad (11)$$

$$G(\varepsilon) = \frac{V(\varepsilon)}{\nu_m} = F(\rho) \cdot F(\mu) \cdot \frac{V_0}{\nu_{m,0}} - \frac{V(\varepsilon)_{рез}}{\nu(\varepsilon)_{m,рез}}, \text{ кг-моль/час} \quad (12)$$

$$\text{или} \quad G(\varepsilon) = F(\rho) \cdot F(\mu) \cdot (G(\varepsilon)_0 - G(\varepsilon)_{рез}), \text{ кг-моль/час} \quad (13)$$

В уравнениях (11)-(13)  $\nu(\varepsilon)$  - мольный объем откачиваемого газа;  $V(\varepsilon)$ ,  $V(\varepsilon)_{рез}$  - объемные расходы откачиваемого и рециклового потоков газа (являются функциями текущей степени сжатия  $\varepsilon$ ) соответственно;  $V_0$  - нормированный расход (соответствует максимальной объемной производительности насоса);  $G(\varepsilon)$ ,  $G(\varepsilon)_0$ , и  $G(\varepsilon)_{рез}$  - мольные расходы тех же потоков.

В качестве нормированного расхода для ЖКВН определен расход в точке перегиба объемной характеристики. В этой точке имеет место максимальная объемная производительность насоса и минимальная величины перетечек откачиваемого газа из полости нагнетания в полость всасывания. Нормированный мольный расход становится функцией текущей степени сжатия и на рис. 6 имеет форму прямой (ряд 2).

Характеристика насоса SIHI LPH 11535, пересчитанная в мольные единицы в соответствии с уравнениями (11)-(13), представлена на рис. 6. Расход рециклового потока (кривая перетечек) хорошо аппроксимируется кривой 2-го порядка.

Большая часть энергии, подводимой к ЖКВН (до 90% от общего расхода), затрачивается на трение вращающегося кольца жидкости о стенки насоса и на перетечки рабочей жидкости в межлопаточных зазорах. Практически вся эта энергия диссипирует в тепло, что и учтено в (14).

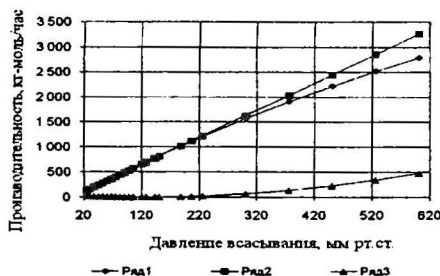


Рис. 6. Характеристика насоса  
SIHI LPH 11535 (расходы  
мольные)

Обозначения: ряд 1 –  $G_0$  – лин  
постоянного (нормированно  
объемного расхода; ряд 2  
экспериментальная характери  
 $G_1(\epsilon)$ ; ряд 3 – расход рециклов  
потока  $G(\epsilon)_{rec}$ .

Для оценки температурной депрессии во вращающемся жидкостном кольце ЖКВН рассмотрим энергетический баланс процесса:

$$G_0 \cdot H_0 + L_0 \cdot h_0 + Q_{mo} + Q_N = G_1 \cdot H_1 + L_1 \cdot h_1, \quad (14)$$

где  $G_0$  и  $L_0$  – количество газа и жидкости поступившего в насос, кг-моль/час;  $G_1$  и  $L_1$  – количество газа и жидкости на выходе из насоса, кг-моль/час;  $H_0$ ,  $H_1$ ,  $h_0$  и  $h_1$  – начальная и конечная энтальпии газа и жидкости соответственно, кВт/кг-моль;  $Q_{mo}$  – энергия, выделившаяся в процессе тепло- и массообмена между откачиваемым газом и рабочей жидкостью, кВт/час;  $Q_N$  – диссипация энергии привода ЖКВН, кВт/час.

В процессе массо- и теплообмена между откачиваемым газом и рабочей жидкостью меняются мольные расходы и газа, и жидкости. Для бинарной постановки задачи (система вода – воздух), пренебрегая растворимостью воздуха в воде, можно записать:

$$G_1 = G_0 + \Delta G \quad (15)$$

$$L_1 = L_0 - \Delta G \quad (16)$$

$$\Delta G = G_0 \cdot \frac{Y_1 - Y_0}{1 - Y_1}, \quad (17)$$

где  $\Delta G$ ,  $Y_1$  и  $Y_0$  – изменение расходов фаз и концентрации водяных паров в воздухе равновесная и на входе в ЖКВН соответственно.

Учитывая, что процесс массообмена проходит на линии насыщения и принимая 90%-ую долю диссипации энергии привода в тепло запишем:

$$Q_{mo} = \Delta G \cdot r \quad (18) \quad Q_N = 0,9 \cdot N_e \quad (19)$$

где  $r$  – скрытая теплота испарения водяных паров,  $N_e$  – затрачиваемая мощность.

Тогда уравнение (14) приводится к виду:

$$G_0 \cdot C_y^0 \cdot T_0 + L_0 \cdot C_x^0 \cdot t_0 + \Delta G \cdot r + 0,9 \cdot N_e = (G_0 + \Delta G) \cdot C_y^1 \cdot T_1 + (L_1 - \Delta G) \cdot C_x^1 \cdot t_1, \quad (20)$$

где  $C_y^0$  и  $C_y^1$  – начальная и конечная теплоемкости газа, кВт/(кг-моль °C);  $C_x^0$  и  $C_x^1$  – начальная и конечная теплоемкости жидкости, кВт/(кг-моль °C);  $T_0$ ,  $T_1$ ,  $t_0$ ,  $t_1$  – начальная и конечная температура газа и жидкости соответственно, °C.

Из условия достижения парожидкостного равновесия ( $T_1 = t_1 = \text{const}$ ) уравнение (20) приводится к виду (21):

$$G_0 \cdot C_y^0 \cdot T_0 + L_0 \cdot C_x^0 \cdot t + G_0 \cdot \frac{Y_1 - Y_0}{1 - Y_1} \cdot r + 0,9 \cdot N_e = G_0 \cdot \left( 1 + \frac{Y_1 - Y_0}{1 - Y_1} \right) \times \\ \times C_y^1 \cdot T_1 + (L_1 - \Delta G) \cdot C_x^1 \cdot t_1 \quad (21)$$

С помощью уравнения (21) был проведён расчет температуры жидкостного кольца и определена температурная депрессия для ЖКВН СИИ 11535. Оказалось, что температура жидкостного кольца для условий испытаний ЖКВН более чем на 6 °C превышает температуру свежей жидкости (15°C) во всём диапазоне давлений, развиваемых насосом. Это обстоятельство оказывает весьма существенное влияние на протекание массообменных процессов между откачиваемым воздухом и рабочей жидкостью, пренебрегать которым нельзя.

Для перехода к рабочим системам была синтезирована расчетная модель (среда ChemCad) - рис. 7. В данной модели аппарат 12 (модуль Flash) моделирует ячейку всасывания, в которую поступают откачиваемая ПГС (поток 17), рецикловый поток газа (поток 24) и рабочая жидкость, охлажденная до заданной температуры (поток 27). Расход рециклового газа при заданном давлении всасывания поддерживается контролером 14 в соответствии с аппроксимационным уравнением (рис. 6), а расход газа из аппарата поддерживается контролером 11 в соответствии с нормированным расходом (рис. 6), скорректированным на величины поправок (5) и (6), за счет подбора расхода ПГС (поток 17). Модуль позволяет учесть и температурную депрессию, складывающуюся в насосе. Для этой цели в модуль 12 (Flash) вводится часть энергии, диссипирующая в процессе откачки в тепло – уравнение (21), которая может быть взята из паспортной характеристики ЖКВН.

Модуль обеспечивает соблюдение условия достижения термодинамического равновесия между расходящимися потоками 10 (ПГС) и 20 (рабочая жидкость) с учетом температурной депрессии. Потоки 10 и 20 затем поступают в ячейку нагнетания 10 (модуль Flach). В ячейке нагнетания задается соответствующее давление и снова проводится расчет парожидкостного равновесия для расходящихся потоков 26 (выхлопные газы) и 28 (рабочая жидкость). Часть расходящихся потоков с помощью делителей потоков 14 и 16 (модули Divider) разделяются для создания рециркуляционных потоков газа (перетечки) и рабочей жидкости. Охлаждение последней до заданной температуры обеспечивается холодильником 17 (модуль Heat exchanger).

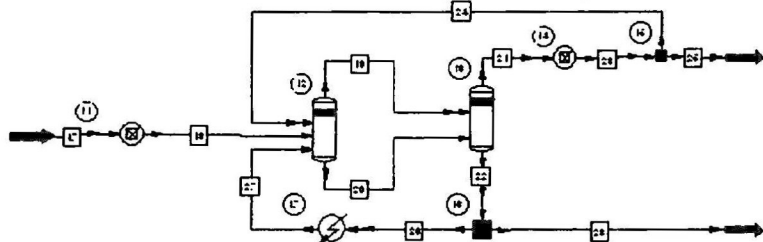


Рис. 7. Расчётная схема ВСС на базе ЖКВН (среда ChemCad)

Расчетная модель не накладывает никаких ограничений ни на составы ПГС и рабочей жидкости, ни на число компонентов, составляющих систему. Поэтому она применима к любым системам (любые откачиваемым газам и любые рабочие жидкости), в том числе и система вода – воздух.

В качестве независимых параметров модели выступают:

1. Расход и параметры состояния (температура, состав) откачиваемого газа;
2. Расход и параметры состояния (температура, состав) свежей рабочей жидкости;
3. Давление нагнетания ЖКВН;
4. Характеристика затрачиваемой мощности (функция от степени сжатия).

Задаваясь давлением всасывания, по расчетной модели определяют соответствующую производительность ЖКВН, отнесенную к условиям всасывания, что позволяет построить характеристику ЖКВН, скорректированную для новых рабочих условий.

### Глава 3. Исследование процесса вакуумной ректификации мазута (вакуумный блок установки АВТ-5 Волгоградского НПЗ)

В третьей главе представлены результаты обработки данных технологического обследования вакуумного блока установки ЭЛОУ-АВТ-5 (ООО «Лукойл – Волгограднефтепереработка»), проведенного в 2010-2011 годах ООО «Лукойл – Нижегороднефтепроект». Технологическое обследование показало, что вакуумный блок установки работает неудовлетворительно: не обеспечивается требуемый вакуум в верху ректификационной колонны; не обеспечивается требуемое качество и глубина отбора целевых масляных фракций; режим работы колонны характеризуется высокими энергозатратами, прежде всего – затратами водяного пара, вводимого в систему ректификации. Фактические показатели технологического режима работы К-5 существенно отличаются от проектных. Сопоставление этих показателей представлено в табл. 1.

Таблица 1.

Данные технологического обследования К-5

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Факт	Проектное значение параметра
1	Остаточное давление верха К-5	мм.рт.ст.	78	40
2	Температура газа после А-10	°С	39	32
3	Температура рабочей жидкости из Т-1	°С	51	40
4	Давление рабочей жидкости на выходе из Н-1/1,2	кгс/см <sup>2</sup>	52	59

Большое влияние на показатели работы рассматриваемой системы оказывает парциальный конденсатор А-10. При понижении давления в системе ректификации до 30 мм рт. ст. и ниже конденсация ПГС становится малозффективной. Это объясняется тем, что в ПГС присутствует значительное количество (до 85%) водяных паров. При давлении верха колонны 25 мм рт.ст., температуре конденсации 30 °С и выше (водяное охлаждение) достигаемая степень конденсации ПГС не превышает 15%, причем в этом случае конденсируются только тяжелые соляровые фракции (температура кипения 350 °С и выше). На рис. 8 и 9 представлены зависимости степени конденсации ПГС от температуры и давления.

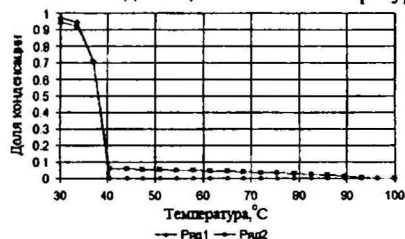


Рис. 8. Зависимость доли конденсации ПГС при давлении 50 мм рт. ст. от температуры  
ряд 1 – водяные пары, ряд 2 – вся ПГС.



Рис. 9. Зависимость доли конденсации ПГС от температуры при давлениях (мм рт. ст.)  
Ряд 1 – 36; Ряд 2 – 37; Ряд 3 – 38; Ряд 4 – 39;  
Ряд 5 – 40.



Как видим, достаточно глубокая степень конденсации ПГС (не менее 90%) может быть достигнута при давлении 50 мм рт. ст. и температуре конденсации 30-33 °С. Как видно из графика, эффективность конденсации значительно снижается при уменьшении давления ПГС в конденсаторе. Так, при проектной температуре в 32 °С, при изменении суммарного сопротивления шлемовой линии и конденсатора на 1-2 мм рт. ст. эффективность конденсации падает в 4 раза.

Глубина развиваемого вакуума или давление всасывания  $P_{вс}$  любых вакуумсоздающих систем функционально зависит от расхода откачиваемых паров  $G_{п}$ . Данная характеристика для насосов данного типа имеет два участка: пологий, на котором производительность слабо зависит от величины развиваемого вакуума; и крутой, на котором относительно небольшие изменения в нагрузке приводят к резкому снижению величины развиваемого вакуума. Этот участок носит название участка перегрузки. Рабочая точка ВГЦА по проекту, соответствует давлению всасывания 40 мм рт. ст. Фактическое давление всасывания ВГЦА составляет 78 мм рт. ст. Это позволяет сделать вывод, что ВГЦА работает в зоне существенных перегрузок. Одним из существенных параметров, которые определяют функционирование ВСС на базе ВГЦА, являются параметры состояния рабочей жидкости (давление, температура, состав).

Во время проведения технологического обследования было выявлено и повышение температуры рабочей жидкости с 40 до 51 °С. При температуре рабочей жидкости 51 °С ДНП рабочей жидкости с учетом растворения легких углеводородов может достичь 38 мм рт. ст. Учитывая суммарное сопротивление шлемовой линии и вакуумного конденсатора, при определённых условиях давление на всасывании ВГЦА может стать равным ДНП рабочей жидкости. При этом производительность ВГЦА резко падает. Также возможной причиной снижения производительности ВГЦА по данным ООО «Лукойл – Нижегороднинефтепроект» может стать пониженное давление рабочей жидкости на входе в ВГЦА (5,3 МПа вместо 6 МПа).

Таким образом, обработка данных технологического обследования вакуумного блока свидетельствуют о том, что ВСС на базе ВГЦА не развивают проектную глубину вакуума, фактическое остаточное давление в системе почти в 2 раза выше проектного. Помимо уже установленных выше причин, можно выдвинуть ещё несколько причин, ответственных за недостижение проектного значения остаточного вакуума: неудовлетворительная работа конденсационного узла, что сопровождается ростом расхода ПГС и гидравлического сопротивления межтрубного пространства аппарата; накопление в циркулирующей рабочей жидкости легких углеводородов из ПГС и повышение ДНП рабочей жидкости; повышение температуры циркулирующей рабочей жидкости.

Основной причиной недостижения заданной глубины вакуума в блоке ректификации мазута все же представляется неудовлетворительная работа конденсационного узла установки.

В задачах реконструкции встает проблема оценки эффективности ВСС различного типа, которая по современным представлениям должна проводиться с использованием экономических критериев (энергетические, эксплуатационные, приведенные затраты, условный доход и т.д.). Для условий НПЗ электроэнергия, как правило, является внешним, а водяной пар и обратная вода – внутренними источниками энергии. В то же время рассматриваемые виды энергии в определённой мере эквивалентны. Наиболее «чистым» видом энергии, легко и с наименьшими потерями трансформируемым в другие виды энергии, является электроэнергия.

Поэтому относительную эксплуатационную ценность различных источников энергии, выраженных в одинаковых единицах (кВт-ч), можно выразить соотношением: энергия сжигания мазута : энергия водяного пара : электроэнергия = 0,5 : 0,6 : 1. Результаты проведенного термодинамического анализа относительной эксплуатационной стоимости различных источников энергии сведены в таблицу 2.

Таблица 2.

Соотношения между стоимостями различных источников энергии

Показатель	Вид энергии			
	Электричество	Водяной пар (P=1 МПа)	Водяной пар (P=0,6 МПа)	Оборотная вода
Оценка стоимости, принятая в промышленности	Руб/кВт-ч	Руб/Гкал	Руб/Гкал	Руб/м <sup>3</sup>
Пределы колебания стоимости	2–5	250–600	250–600	2 - 13
Относительная стоимость	1 кВт-ч/кВт-ч)	50–300 кВт-ч/Гкал	50–300 кВт-ч/Гкал	1 – 2,6 кВт-ч/м <sup>3</sup>
Термодинамический эквивалент источника энергии	1 кВт-ч/кВт-ч	1163 кВт-ч / Гкал	1163 кВт-ч / Гкал	0,1 (кВт-ч/м <sup>3</sup> )
Коэффициент трансформации энергии (к.п.д.)	1	0,6	0,55	0,5
Относительная эксплуатационная стоимость	1 кВт-ч/кВт-ч	698 кВт-ч / Гкал	640 кВт-ч / Гкал	0,2 кВт-ч/м <sup>3</sup>
Массовый эквивалент расхода водяного пара	–	1680 кг/Гкал	1700 кг/Гкал	

Сопоставление возможных вариантов исполнения ВСС по экономическим показателям представлено в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение различных типов ВСС по энергозатратам

№ п/п	Показатель	Размерность	Тип ВСС		
			ПЭН	ВГЦА	Комбинированная ВСС (ПЭ + ЖКВН)
1	Расход ПГС	кг/час	1000	1000	1000
2	Давление всасывания	мм рт. ст	25	25	25
3	Расход электроэнергии	кВт-ч	-	3745	320
4	Расход водяного пара (P=1 МПа, T=200°C)	(кг/час)/ Гкал/час	5860/3,49	-	562/0,335
5	Расход оборотной воды	м3/час	198	190	152
6	Эксплуатационные затраты	кВт-ч (экв.)	4095	3746	710
7	Относительные эксплуатационные затраты	%	100	91.44	17.32
8	Эксплуатационные затраты (расчет по сложившимся ценам, руб.)	руб/час	3895	13700	3060
9	Затраты относительные	%	100	352.13	78.68

Анализ данных табл. 3 показывает, что ВСС с ЖКВН в 5 раз выигрывают у ВСС с ЖЭ и у ПЭНов в плане относительных эксплуатационных затрат. В то же время сопоставление, проведенное с использованием фактически сложившихся на НПЗ цен, дает существенно иную картину. Однако и в этом случае схема ВСС на базе ЖКВН оказывается наиболее экономичной. Аналогичный вывод можно сделать и относительно капитальных затрат, что достаточно важно, поскольку из-за особенностей вакуумной технологии обычно необходимо предусматривать резервирование ВСС для обеспечения безопасности эксплуатации установок.

#### **Глава 4. Разработка рекомендаций по реконструкции вакуумсоздающей системы колонны К-5 установки АВТ-5 Волгоградского НПЗ**

Работа по разработке рекомендаций по реконструкции вакуумсоздающей системе вакуумной колонны К-5 установки ЭЛОУ-АВТ-5 проводилась в рамках соглашения, заключенного между КНИТУ и ОАО «Лукойл - Нижегородниинетепереработка» по заданию Президента РТ Р.Н. Минниханова и Президента ОАО «Лукойл» В. Ю. Алекперова. Предложения по внедрению новых ВСС были рассмотрены и одобрены на техническом совещании представителей КНИТУ и ОАО «Лукойл» (г. Нижний Новгород) в августе 2010 г.

Реконструкция вакуумной колонны К-5, предназначенной для проведения вакуумной ректификации мазута, проводится в 2 основных направлениях:

- Замена контактных устройств вакуумных колонн на более производительные и более эффективные регулярные насадки;
- Снижение давления в вакуумных колоннах с целью увеличения доли отгона сырьевого потока на входе в колонну и отбора целевых масляных фракций за счет доведения существующей ВСС (ВГЦА) до работоспособного состояния.

В качестве головной проектной организации по организации обследования (технического аудита), проектированию и реконструкции вакуумного блока выступает ОАО «Лукойл - Нижегородниинетепереработка». Замену существующих контактных устройств в колонне К-5 на регулярную высокоэффективную насадку «Zulzer» с малым гидравлическим сопротивлением проводит одноименная фирма. Это мероприятие позволяет существенно снизить гидравлическое сопротивление колонны, и, следовательно, - требуемую температуру нагрева сырья.

Разработка рекомендаций по разработке решений, обеспечивающих надежное достижение заданного вакуума (40 мм рт. ст.), была поручена КНИТУ. При этом были рассмотрены 2 варианта проведения реконструкции: 1) Дооборудование существующей ВСС (ВГЦА) предвключенным одноступенчатым паровым эжектором (ПЭ), размещенным между колонной и конденсатором; 2) Замена ВГЦА на ЖКВН также с установкой предвключенного ПЭ.

Главной причиной недостижения проектного значения остаточного давления в вакуумной колонне является неудовлетворительная работа конденсатора А-10, причины которой были рассмотрены выше. Для увеличения давления в конденсаторе предложено установить паровой эжектор, который бы поднимал давление в А-10 до 50-55 мм рт. ст., повышая тем самым эффективность конденсации в конденсаторе, снижая нагрузку на ВСС. На рис. 10 представлена технологическая схема комбинированной ВСС на базе предвключенного ПЭ и ВГЦА. На рисунке сплошными линиями обозначены существующие технологические потоки, а пунктирными – вновь вводимые.

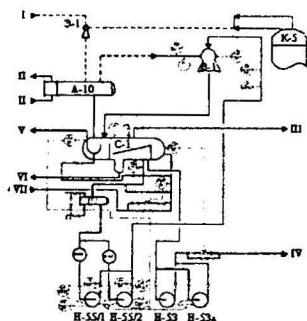


Рис. 10. Предлагаемая технологическая схема комбинированной ВСС на базе парового эжектора и ВГЦА агрегата  
Обозначения: К-5 – вакуумная колонна; Э-1 – паровой эжектор; С-1 – сепаратор; А-10 – вакуумный конденсатор; Н-55/1,2, Н-53, Н-53а – насосы. Потоки: I – водяной пар; II – обратная вода; III – несконденсированные газы; IV – дизельная фракция; V – в Е-1а; VI – В ПЛК; VII – подпитка рабочей жидкости.

За счет установки ПЭ давление в А-10 повышается до 50 мм рт. ст., что обеспечивает глубокую конденсацию водяных паров при температурах 33-35 °С, что вполне достижимо для системы оборотного водоснабжения завода. На рис. 11 показан выход в ПГС из А-10 в зависимости от температуры конденсации. Технологическая схема, соответствующая второму варианту реконструкции, представлена на рис. 12.

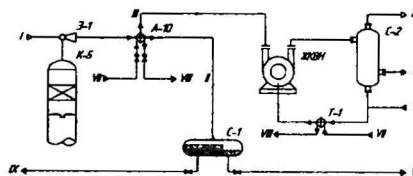


Рис. 12. Схема комбинированной ВСС на базе парового эжектора и ЖКВН  
Обозначения: К-5 – вакуумная колонна; Э-1 – паровой эжектор; С-1 – сепаратор; А-10 – вакуумный конденсатор. Обозначения потоков: I – рабочее тело, II – конденсат, III – несконденсированная ПГС, IV – сбросный газ (выхлоп), V – углеводородная фаза (балансовый избыток), VI – углеводородная фаза (рабочая жидкость), VII и VIII – свежая и отработанная охлаждающая вода соответственно, IX – водная фаза (конденсат).



Рис. 11. Количество несконденсированной в конденсаторе А-10 ПГС в зависимости от температуры конденсации при давлениях нагнетания в ПЭ (мм рт.ст.)

Обозначения: Ряд 1 – 50; Ряд 2 – 60; Ряд 2 – 80; Ряд 4 – 100.

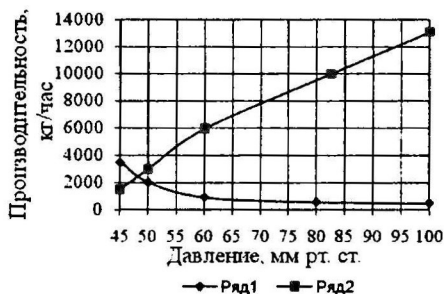


Рис. 13. Сопряжение характеристик конденсатора и ВСС

Обозначения: Ряд 1 – характеристика вакуумного конденсатора; Ряд 2 – характеристика ЖКВН, пересчитанная на новые рабочие условия.

В качестве ЖКВН предполагается использовать машину SIHI LPH 11535, производства фирмы Sterling SIHI GmbH (г. Итцехо, Германия), так как данный насос обладает наилучшими характеристиками для условий решаемой задачи среди машин данного класса. Характеристика насоса, рассчитанная с использованием математической модели ЖКВН для рабочих условий эксплуатации, представлена на рис.13 (ряд 2). Там же показана и характеристика конденсатора А-10 (ряд 1).

Как видим, характеристики конденсатора и ЖКВН сопрягаются в точке  $P = 47$  мм рт. ст. Для сглаживания влияния температуры конденсации и обеспечения некоторого запаса по производительности, было предложено принять давление на всасывании ЖКВН после ПЭ равным 50 мм рт. ст. Оба варианта реконструкции были переданы ОАО «ЛУКОЙЛ-Нижегородниинефтепроект» и использованы при разработке проекта реконструкции. Акт об использовании рекомендаций представлен в Приложении к диссертации.

Ранее вакуумсоздающая система на базе ЖКВН была совместно с ООО «УНИВАК-Н» (г. Казань) разработана и внедрена при реконструкции ВСС отделения по переработке отходов основного производства фенола-ацетона ОАО «Казаньоргсинтез». Данное производство включает в себя узел переработки углеводородной фракции с целью извлечения из неё изопропилбензола (ИПБ) и альфа-метилстирола (АМС) и включает в себя 6 ректификационных колонн, 5 из которых работают под вакуумом. При реконструкции была поставлена задача замены ПЭНов на новое поколение энергосберегающих и экологически чистых ВСС, которые позволили бы снизить эксплуатационные затраты на процесс создания и поддержания вакуума, а также уменьшить образование химзагрязнённых стоков. Упрощенная технологическая схема реконструкции ВСС отделения представлена на рис. 14.

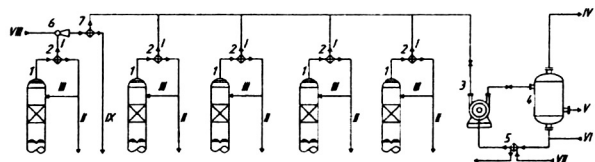


Рис. 14. Технологическая схема реконструкции ВСС отделения переработки отходов производства фенола и ацетона.

**Обозначения:** 1 - ректификационные колонны; 2 - дефлегматоры; 3 - жидкостно-кольцевой вакуумный насос; 4 - сепаратор газ - жидкость; 5 - теплообменник для охлаждения рабочей жидкости ЖКВН; 6 - предвключенный паровой эжектор; 7 - конденсатор; I - несконденсированные пары; II - дистиллят; III - флегма; IV - углеводородный газ (выхлоп); V - отводимая углеводородная фаза (балансовый избыток); VI - рабочая жидкость; VII - оборотная вода; VIII - водной пар; IX - сконденсированные водяные пары.

С использованием вышеописанных модулей в среде ChemCad была синтезирована общая расчетная модель исследуемого объекта. Для выработки рекомендаций по реконструкции отделения было проведено обследование существующих режимов работы всех ректификационных колонн отделения. Основное значение при обследовании придавалось измерению профилей температур и давлений по тракту движения откачиваемых газов от ректификационных колонн до ВСС. Результаты обследования приведены в табл. 4.

В качестве концептуальной идеи реконструкции было выдвинуто предложение об использовании в качестве ВСС единой вакуумсоздающей станции гидроциркуляционного типа на базе ЖКВН. Аналогов использования подобного решения для крупномасштабных промышленных установок в отечественной практике

нет. В проект реконструкции был заложен ЖКВН марки P2L 65327 Y 4B производства фирмы SINI. В качестве рабочей жидкости была использована фенольная вода (концентрация фенола до 4% масс.). На рис. 15 представлено сопряжение характеристик трубопроводного тракта группы сопряженных колонн и ЖКВН.

Таблица 4

Результаты обследования технологического объекта

Номер колонны	Давление в шлемовой линии, мм. рт. ст.	Температура конденсации, °C	Расход газов натекания, кг/час (расчет по модели)
K-4	14	40	3,21
K-58	22	35	4,6
K-37	65	45	3,95
K-48	100	55	2,18
K-31	Более 100	70	2,58

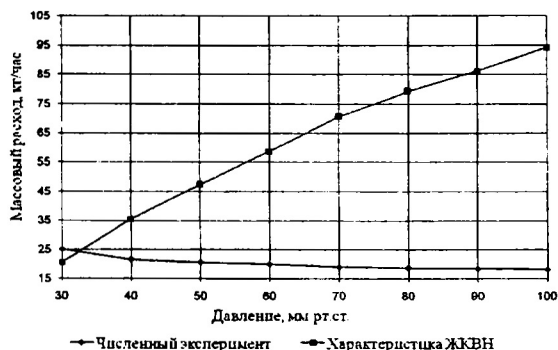


Рис. 15. Сопряжение характеристик трубопроводного тракта вакуумируемого объекта и ЖКВН P2L 65327 Y 4B

Как видно из рис. 15, характеристики этих элементов сопрягаются в точке 33 мм рт. ст. Учитывая, что точность моделирования гидравлического сопротивления газового тракта и конденсационных узлов является относительно невысокой, было предложено закрепить с помощью антипомпажной защиты насоса давление в системе, равное 40 мм рт. ст. При запуске реконструированной системы в эксплуатацию во всех колоннах, за исключением K-31, было достигнуто запланированное значение вакуума. В K-31 давление оказалось выше запроектированного (55 мм рт. ст.) из-за повышения температуры конденсации в дефлегматоре (60 °C). Для понижения давления было предложено ввести в схему дополнительный ПЭ между верхом колонны и дефлегматором. В качестве ПЭ была использована первая ступень существовавшего ПЭНа. После включения ПЭ давление во всех колоннах системы пришло к запроектированному значению, что подтверждает эффективность и технологическую гибкость комбинированной ВСС. Акт о показателях работы реконструированной ВСС представлен в Приложении к диссертации.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Важное влияние на технологию разделения мазута под вакуумом оказывает надежность и эффективность работы вакуумсоздающих систем. Корректное

- сопоставление конкурентоспособности современных типов ВСС до настоящего времени не выполнено, что затрудняет возможности их внедрения.
2. Для моделирования режимов работы СХТС в среде ChemCad построены специализированные вычислительные модели для всех элементов системы, в которых в качестве выходных параметров выступают расход и параметры состояния парогазовой смеси (ПГС), покидающей модуль, а в качестве внутренних – параметры элементов более низкого иерархического уровня.
  3. Разработаны методика и алгоритм пересчета паспортных характеристик жидкостно – кольцевых вакуумных насосов (ЖКВН), полученных на системе вода – воздух, для произвольных рабочих условий работы ЖКВН.
  4. На основе численного эксперимента по моделированию работы блока разделения мазута Волгоградского НПЗ выявлены причины недостижения проектных показателей работы ВСС блока: высокое гидравлическое сопротивление вакуумной колонны; неудовлетворительная работа конденсационного блока; перегрузка вакуумного гидроциркуляционного агрегата (ВГЦА).
  5. Разработана схема реконструкции ВСС блока, предусматривающая дооборудование блока дополнительным паровым эжектором (ПЭ), установленным между вакуумной колонной и конденсатором, и разработаны конкретные рекомендации по внедрению комбинированной ВСС на Волгоградском НПЗ, которые переданы ОАО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднинефтепроект» (г. Нижний Новгород).
  6. Проведенная опытно – промышленная проверка работоспособности комбинированной ВСС (паровой эжектор + ЖКВН) в ОАО «Казаньоргсинтез» показала высокую эффективность разработанного проектного решения.

**Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих материалах:**

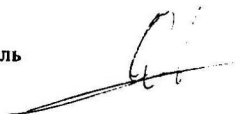
**В научных журналах, рекомендованных ВАК:**

1. **Осипов Э.В.** Анализ сложной химико-технологической системы, включающей в себя вакуумные ректификационные колонны и вакуумсоздающую систему на базе ЖКВН / Э.В. Осипов, Э.Ш. Теляков, С.И. Поникаров // Вестник Казан. технол. ун-та. -2010. -№8. - С. 434-435.
2. **Осипов Э.В.** Системное моделирование установок вакуумной ректификации / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Э.Ш. Теляков // Бутлеровские сообщения. -2011. -№20. -С. 84-88.
3. **Осипов Э.В.** Модернизация вакуумсоздающих систем (ВСС) установок ректификации мазута / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Э.Ш. Теляков // Бутлеровские сообщения. -2011. -№20. -С. 109-115.
4. **Осипов Э.В.** Реконструкция вакуумсоздающих систем отделения переработки отходов производства фенола-ацетона / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Э.Ш. Теляков и [др.] // Вестник Казан. технол. ун-та. -2011. -№18.-С. 193-201.
5. **Осипов Э.В.** Системное моделирование установок вакуумной ректификации / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Ф.М. Сайрутдинов и [др.] // НТЖ "Вестник СГТУ". - 2011. -№ 3. -С. 47-52.
6. **Осипов Э.В.** Энергосберегающая технология создания вакуума в ректификационной колонне установки АВТ / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Э.Ш. Теляков и [др.] // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. -2011. -№12. -С. 31-35.

**В других журналах и материалах конференций:**

7. **Осипов Э.В.** Математическая модель динамики сложного массообменного аппарата и её идентификация по данным промышленных обследований / Э.В. Осипов, И.С. Мугаев, Э.Ш. Теляков // Пятая Всероссийская научно-техническая конференция «Интенсификация тепло- и массообменных процессов в химической технологии», посвященная 100-летию Г.К.Дьяконова. -Казань, 2007. С.81-84.
8. **Осипов Э.В.** Реализация модели динамики сложного массообменного аппарата в качестве электронного тренажера технологического объекта / И.С. Мугаев, Э.В. Осипов, Э.Ш.Теляков // Пятая Всероссийская научно-техническая конференция «Интенсификация тепло- и массообменных процессов в химической технологии», посвященная 100-летию Г.К.Дьяконова. -Казань, 2007. С. 78-81.
9. **Осипов Э.В.** Исследование процесса откочки газов разложения из вакуумных колонн установок АВТ / Э.В. Осипов, А.П. Егоров, Э.Ш. Теляков // Пятая Всероссийская научно-техническая конференция «Интенсификация тепло- и массообменных процессов в химической технологии», посвященная 100-летию Г.К. Дьяконова. -Казань, 2007. С. 223-226.
10. **Осипов Э.В.** Расчет и моделирование вакуумсоздающих систем на базе жидкостно-кольцевого вакуумного насоса / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Э.Ш. Теляков // «Вакуумная наука и техника» Материалы XVII научно технической конференции. -Москва, 2010. С. 29-32.
11. **Осипов Э.В.** Моделирование вакуумной ректификационной колонны / Е.В. Храмова, Э.В. Осипов, Э.Ш. Теляков, С.И. Поникаров // Материалы Пятой Российской студенческой научно-технической конференции «Вакуумная техника и технология». -Казань, 2011. С. 102-103.
12. **Осипов Э.В.** Очистка газов разложения вакуумного блока АВТ от сероводорода / Э.В. Осипов, Р.Г. Теляшев, А.Н. Обрывалина и [др.] // Материалы международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка-2011». -Уфа, 2011. С. 125.
13. **Осипов Э.В.** Утилизация факельных газов. / Э.В. Осипов, Р.Г. Теляшев, А.Н. Обрывалина и [др.] // Материалы международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка-2011». -Уфа, 2011. С. 167.
14. **Осипов Э.В.** Комбинированная вакуумсоздающая система / Э.В. Осипов, Р.Г. Теляшев, А.Н. Обрывалина и [др.] // Материалы международной научно-практической конференции «Нефтегазопереработка-2011». -Уфа, 2011. С. 244.
15. **Осипов Э.В.** Энергосберегающая технология создания вакуума в вакуумном блоке установки АВТ / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Ф.М. Сайрутдинов и [др.] // Материалы XVIII научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника». – Москва, 2011. С. 41-44.
16. **Осипов Э.В.** Системное моделирование установок вакуумной ректификации / Э.В. Осипов, С.И. Поникаров, Ф.М. Сайрутдинов, Э.Ш.Теляков // – ММТТ-24: Сб. трудов XXIV Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях». -Киев, 2011. –Т.3. –С. 61-64.
17. **Осипов Э.В.** Комбинированная вакуумсоздающая система (ВСС) установок АВТ / Э.В. Осипов, Ф. М. Сайрутдинов, С.И. Поникаров и [др.] // Сб. мат-в Всероссийской мол. конф-и с эл. научн. школы «Нефть и нефтехимия». -Казань, 2011. С. 393-396.

Соискатель



Э.В. Осипов



*Отпечатано в ООО «Печатный двор».  
г. Казань, ул. Журналистов, 2А, оф.022  
Тел: 295-30-36, 541-76-41, 541-76-51.  
Лицензия ПД №7-0215 от 01.11.2001 г.  
Выдана Поволжским межрегиональным  
территориальным управлением МПТР РФ.  
Подписано в печать 27.01.2012 г. Печ.л.1,2  
Заказ № К-7115. Тираж 100 экз. Формат 60х84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать - ризография.*





